

論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨の公表

学位規則第 8 条に基づき、論文の内容の要旨及び論文審査の結果の要旨を公表する。

○氏名	REYES PINNER FABIAN EUGENIO (れいえす びなー ふぁびあん えうへにお)
○学位の種類	博士 (工学)
○授与番号	甲 第 1256 号
○授与年月日	2018 年 9 月 25 日
○学位授与の要件	本学学位規程第 18 条第 1 項 学位規則第 4 条第 1 項
○学位論文の題名	Environment-Aided Manipulation (EAM) with Snake Robots (ヘビ型ロボットにおける環境支援型マニピュレーション)
○審査委員	(主査) 馬 書根 (立命館大学理工学部教授) 平井 慎一 (立命館大学理工学部教授) 野方 誠 (立命館大学理工学部教授)

<論文の内容の要旨>

ヘビ型ロボットは複数の関節を有し、狭隘な環境で移動できるだけでなく、その長い体幹で物体を操作することもできる。本研究はヘビ型ロボットと物体との間にはたらく相互作用について研究し、ヘビ型ロボットを物体の把持や操作などへも活用する方法について議論する。本論文では、環境だけでなく操作対象物体とも接触するヘビ型ロボットの力学解析を行い、その間で起こる力学的な相互作用の原理解明を試みた。この相互作用の原理を解明することにより、環境との接触を活用したヘビ型ロボットの操作方法を理解し、環境支援マニピュレーション (EAM: Environment-Aided Manipulation) の概念を導入した。EAM はロボットシステムによって物体を操作する場合だけでなく、環境や物体との接触を伴うロボットの移動に対しても同時に使用できることから、ヘビ型ロボットと物体の慣性項を考慮した解析は重要であり、意義が大きい。

本論文は 6 章から構成されている。第 1 章で問題の提起及び従来研究の不足点を述べ、EAM の概念を導入した。第 2 章で EAM を記述し、把持に影響を与えるヘビ型ロボットと物体の大きさの関係を幾何学的に調べた。なお、ヘビ型ロボットと物体との完全な動力学モデルを確立し、それらの運動に関連した滑り率を導入した。第 3 章では、物体を押し出すための最適な姿勢 (ヘビ型ロボットの形状) を誘導した。結果として、ヘビ型ロボットの質量中心の位置が物体を押し出すときに重要な役割を果たすことを明らかにした。これはヘビ型ロボットの形状 (関節姿勢角) が違って

いても質量中心の位置が変わらなければ同様の性質が成り立つことを示す。また、ヘビ型ロボットと地面との摩擦力はロボットの滑りに影響するものの、対象物体の動きに影響しないことが判明した。第4章で実機実験を用いて第3章の解析結果“ヘビ型ロボットの物体操作における良い姿勢と悪い姿勢”について検証した。第5章で他の研究と比較した場合の本研究の位置付け、及び本論文の解析手法の拡張性について議論した。第6章は本研究で得られた知見をまとめ、EAMにおける今後の研究方向を示した。

<論文審査の結果の要旨>

ヘビ型ロボットは複数の関節を有し、複雑あるいは狭隘な環境に対する適応能力が高く、従来の移動ロボットが困難であった性能の実現に期待が寄せられている。このようなヘビ型ロボットを実現するために、環境適応の移動原理だけでなく、その長い体幹で物体を操作する原理の解明も重要である。本論文では、環境だけでなく操作対象物体との接触があるヘビ型ロボットの力学解析を行い、その間で起こる力学的な相互作用原理の解明を試みた。本論文の貢献は以下の通りである。

- ロボットによって物体を操作する場合だけでなく環境や物体との接触を伴うロボットの移動に対しても同時に使用できるEAMの概念を導入し、ヘビ型ロボットによるEAMを定式化した。特にヘビ型ロボットと物体を含んだ完全な動力学モデルを確立し、それらの運動に関連付けた滑り率を導入した。
- 物体を安定把持するためのヘビ型ロボットと物体の幾何学的な関係を調べ、フォームクロージャ(Form-closure)を保証する条件を示した。
- 複数のシナリオに基づいてヘビ型ロボットによる環境支援型マニピュレーション(EAM)を解析し、ヘビ型ロボットの質量中心の位置が物体を押し出すときに重要な役割を果たすこと、およびヘビ型ロボットと地面との摩擦力が操作対象物体の滑りへ影響を与えないことを明らかにした。

以上の論文審査と公聴会での口頭試問結果を踏まえ、審査委員会は本論文が本研究科の博士学位論文審査基準を満たしており、博士学位を授与するに相応しい水準に達しているという判断で一致した。

<試験または学力確認の結果の要旨>

本論文の主査は、学位申請者が本学大学院理工学研究科機械システム専攻博士課程後期課程在学期間中に、研究指導を通じて日常的に研究討論を行ってきた。また、本論文提出後、主査および副査はそれぞれの立場から論文の内容について評価を行った。

本論文の公聴会は、2018年4月20日(金)9時00分～10時20分 イーストウイング4階機械システム系第2演習室において行われた。公聴会では、学位申請者による論文要旨の説明の後、審査委員は学位申請者REYES PINNER FABIAN EUGENIO氏に対する口頭試問を行った。各審査委員および公聴会参加者より、加速度のノルムの定義、フォームクロージャを用いた理由、剛体モデルにおける不静定問題への対応、数値計算におけるクーロン摩擦モデルの不安定性に関する疑問点、数値計算結果と実験結果の一致性などの質問がなされたが、いずれの質問に対しても学位申請者の回答は適切なものであった。審査委員会は、

論文内容および公聴会での質疑応答を通して、学位申請者が十分な学識を有し、博士学位に相応しい学力を有していることを確認した。

以上の諸点を総合し、審査委員会は、学位申請者に対し、本学学位規程第 18 条第 1 項に基づいて、「博士（工学 立命館大学）」の学位を授与することが適当であると判断する。